

探討 GPTs 虛擬助教在微積分學習對大學生認知負荷之影響

The Impact of Custom GPTs as Teaching Assistants on University Students' Cognitive Load in Calculus Learning

吳汶涓

臺灣宜蘭大學資訊工程學系

* wenn@niu.edu.tw

【摘要】 本研究旨在探討生成式 AI 虛擬助教介入大學微積分教學，對學生認知負荷與學習成效之影響。研究採用交叉實驗設計，將學生分組並交替進行「傳統紙筆」與「GPTs 引導」解題模式，實證結果顯示，兩種模式在學習成效上無顯著差異，證實 AI 輔助具備教學可行性。然而，在心理感受層面，GPTs 模式顯著降低學生的情緒負荷與增生負荷，表示 AI 能有效扮演情感調節與認知引導的角色，協助學生跨越微積分的理解門檻。此外，研究亦發現操作順序效應，顯示導入 AI 的時機點對介面適應與學習體驗有重要影響。

【關鍵字】 生成式 AI；客製化 GPTs；虛擬助教；微積分學習；認知負荷

Abstract: This study aims to investigate the impact of integrating Generative AI teaching assistants into university calculus instruction on students' cognitive load and learning performance. Using a crossover experimental design, this study grouped students to alternate between "traditional paper-and-pencil" and "GPTs-guided" problem-solving modes. Empirical results showed no significant difference in learning performance between the two modes, confirming the pedagogical feasibility of AI assistance. However, in terms of psychological perception, the GPTs mode significantly reduced students' emotional load and germane load. This indicates that AI can effectively play the roles of affective regulation and cognitive guidance, assisting students in overcoming cognitive barriers to understanding calculus. Furthermore, the study revealed an operational order effect, suggesting that the timing of AI introduction significantly influences interface adaptation and the learning experience.

Keywords: Generative AI, Customized GPTs, teaching assistants, calculus learning, cognitive load

1. 研究背景與動機

微積分(Calculus)作為科學、技術、工程與數學(STEM)領域的基石課程，長期以來在高等教育中扮演著關鍵的角色。然而，微積分也是大學生面臨最大挑戰的學科之一，特別是大一新鮮人，全球各大學普遍面臨微積分課程的高當率與學生學習動機低落的問題(Kurudirek et al., 2025)。在微積分的學習過程中，學生主要面臨兩種類型的認知負荷，即是內在認知負荷(Intrinsic Cognitive Load)與外在認知負荷(Extraneous Cognitive Load)。內在負荷源於教材本身的複雜度與元素的互動性，微積分涉及多步驟的邏輯推演與抽象符號的操作，本質上難度即構成極高的內在負荷；而外在認知負荷係由教學設計不當或缺乏輔助工具所引起。自 2022 年 Open AI 發布 ChatGPT 後，許多研究指出生成式 AI (Generative AI, GAI)能夠提供即時的個別化回饋、生成練習題以及輔助程式撰寫，具有實現大規模個人化學習的潛力(Hwang & Chen, 2023; Baidoo-Anu & Owusu Ansah, 2023; Xu, 2024)。

OpenAI 於 2023 年底推出客製化 GPTs 功能，用以解決通用型模型在專業學科教學上的不足，客製化 GPTs 透過上傳專屬的知識庫，並結合檢索增強生成技術與精細的提示指令，建構出具備高度領域特異性的 AI 助教，客製化 GPTs 能夠將回答範圍嚴格限制在課程內容之內，顯著降低模型產生幻覺的機率(Mehta et al., 2025; Huang & Willems, 2025)。基於客製化 GPTs 的應用效益，本研究旨在設計並開發一款專為微積分課程量身打造的客製化 GPT 助教，並透過準實驗設計驗證其教學成效。本研究欲回答以下關鍵問題：(1) 與傳統教學模式相比，使用客製化 GPTs 助教是否能顯著降低學生在微積分學習過程的外在認知負荷？(2) 客製化 GPTs 的介入是否有效提升學生的學習成效？(3) 學生對採用客製化 AI 助教的科技接受度與使用滿意度為何？

2. 研究方法

本研究目的在於探討導入生成式 AI 助教對大學生微積分學習之認知負荷與學習成效的影響。為有效驗證教學模式的差異，本研究採用準實驗設計中的交叉設計，確保所有受試者皆能體驗兩種教學模式（傳統紙筆與客製化 GPTs 輔助），排除受試者個別差異對實驗結果之干擾。本研究之實驗對象為台灣某大學資訊工程學系一年級學生，受試者共計 43 人，所有受試者具備相近的學科背景與先備知識。

2.1. 研究設計

本研究將 43 名受試者依據學生數學程度隨機分為兩組：A 組 (N=20) 與 B 組 (N=23)。實驗共分為兩個階段，分別對應兩個不同的微積分教學單元，也就是連鎖法則 (Chain Rule) 與隱函數微分 (Implicit Differentiation)，這兩個單元難度相當且具關聯性，皆為微分章節中的核心概念，適合於檢測學生的邏輯推演能力。A 組在第一階段（連鎖法則）先進行傳統的紙筆解題，隨後在第二階段（隱函數微分）切換為 GPTs 輔助解題；B 組則依反向順序進行。此設計之優勢在於每位學生皆作為自己的控制組，能有效比較同一位學習者在不同輔助模式下的認知負荷差異。

2.2. 研究工具

本研究採用的 AI 輔助工具為 OpenAI GPT Store 上公開發布且經社群驗證的專用模型「Calculus Tutor」，使用模型為 GPT-4o。本研究選用此工具之主因，在於其被設定為引導式教學模式，當學生上傳題目或提問時，Calculus Tutor 不會直接提供最終答案，而是逐步拆解問題，並且提示解題所需的關鍵定理，引導學生自行思考下一步。此特性符合降低外在認知負荷並保留增生認知負荷的教學原理。另外，本研究採用改編自 Sweller、Paas 與 Leppink 等人之認知負荷量表，量表共有五個題目，包含一題內在認知負荷、兩題外在認知負荷以及兩題增生認知負荷，並採用 Likert 五點量表計分。此外，研究者依據兩個單元各編制五題計算題，以檢測學生對特定概念的掌握度與運算正確率。

2.3. 實驗流程

本實驗安排於正規課程時間內進行，共分為兩個階段，分別對應連鎖法則與隱函數微分之單元教學，這兩階段皆安排於同一週內完成，確保實驗情境的一致性，每階段各占用標準一節課五十分鐘的時間。課程起始的前五分鐘，由研究者進行實驗的說明，講解當次的學習任務與流程；緊接的十分鐘為教師概念講授時間，由授課教師針對該單元進行基礎概念講解與範例演示，確保所有學生建立基本的解題先備知識。隨後，進入二十五分鐘的練習活動，此為實驗介入的核心階段。此期間，處於傳統紙筆模式的學生僅能依靠課本與筆記自行運算，若遇困難須自行查閱資料；而處於 GPTs 輔助模式的學生則使用 Calculus Tutor，在解題遇阻時可向 AI 提問或上傳算式尋求引導。練習結束後，隨即進行五分鐘的評量階段，學生須填寫

認知負荷量表與該單元的學習成效測驗。最後五分鐘則由教師進行總結，針對練習過程觀察到的常見錯誤進行統整與歸納，以完成該單元的完整教學閉環。

3. 研究結果

本研究首先檢視 A 組學生在不同解題模式下的認知負荷與學習成效差異，如表 1 所示。從表 1 結果顯示，當學生從熟悉的紙筆運算切換至 GPTs 輔助模式時，並未如預期立即降低負荷，反而出現了顯著的負面干擾效應。這意味著，對已經建立傳統運算模式的學習者而言，中途引入 GAI 工具在初期形成一種轉換成本，學生在解題過程還需分神進行提示詞輸入、閱讀及驗證生成內容，導致產生較高的分心與困難感受。表 2 則為 B 組學生的認知歷程結果，當 B 組學生被移除 GPTs 輔助並回歸紙筆練習時，各項負荷指標出現顯著的戒斷效應，差異最驚人的是情緒負荷（挫折感）；同時增生認知負荷（理解費力感）亦顯著增加。這項發現強烈支持 GAI 作為情感鷹架與認知輔具的功能，也就是在有 AI 陪伴的階段，使學生在面對困難題目仍能保持低挫折感，一旦撤除此支持，學生被迫獨自面對繁複的運算過程。此結果凸顯由 AI 輔助轉回傳統模式時，學生在心理韌性與認知依賴上所面臨的巨大挑戰。

表 1

A 組學生在不同解題模式下認知負荷與學習成效的差異分析 (N=20)

構面	紙筆模式 M (SD)	GPTs 模式 M (SD)	t 值	p 值
內在負荷(困難)	2.85 (0.99)	3.35 (1.04)	2.13*	.047
外在負荷(分心)	2.30 (1.13)	3.10 (1.02)	2.37*	.028
外在負荷(挫折)	2.55 (1.00)	2.65 (0.81)	0.40	.694
增生負荷(理解)	2.85 (1.14)	2.75 (1.21)	-0.37	.716
增生負荷(努力)	3.45 (1.15)	3.60 (0.99)	0.68	.505
成就測驗	40.00 (10.26)	38.00 (8.94)	-0.94	.359

* $p < .05$

表 2

B 組學生在不同解題模式下認知負荷與學習成效的差異分析 (N=23)

構面	紙筆模式 M (SD)	GPTs 模式 M (SD)	t 值	p 值
內在負荷(困難)	3.43 (1.08)	3.13 (1.18)	-1.78	.090
外在負荷(分心)	2.83 (1.03)	2.52 (1.04)	-1.37	.184
外在負荷(挫折)	3.09 (0.95)	2.09 (0.73)	-5.62***	.000
增生負荷(理解)	3.17 (1.11)	2.48 (0.99)	-3.43**	.002
增生負荷(努力)	3.70 (0.70)	3.52 (0.59)	-1.45	.162
成就測驗	37.83 (9.51)	36.09 (7.22)	-0.75	.462

** $p < .01$, *** $p < .001$

表 3

不同操作順序組別在各構面差異之獨立樣本 t 檢定

構面	A 組 M (SD)	B 組 M (SD)	t 值	p 值
內在負荷(困難)	0.50 (1.05)	-0.30 (0.82)	2.81**	.008
外在負荷(分心)	0.80 (1.51)	-0.30 (1.06)	2.80**	.008

外在負荷(挫折)	0.10 (1.12)	-1.00 (0.85)	3.65***	.000
增生負荷(理解)	-0.10 (1.21)	-0.70 (0.97)	1.79	.081
增生負荷(努力)	0.15 (0.99)	-0.17 (0.58)	1.33	.190
成就測驗	-2.00 (9.51)	-1.74 (11.14)	-0.08	.935

* $p < .05$, ** $p < .01$

表 3 呈現兩組在模式切換前後的變化幅度是否具有統計顯著性，以釐清操作順序對學習體驗的影響。結果證實操作順序效應的存在，特別是在外在認知負荷與情緒負荷上呈現顯著差異。B 組（先由 AI 輔助再移除）在情緒負荷上的變化量顯著大於 A 組（先紙筆再導入 AI），這證實由奢入儉難的心理現象，即是失去 AI 輔助的挫折感遠大於獲得 AI 輔助的適應不適感。不過，儘管兩組在認知與情緒上有不同的歷程，兩組在測驗的學習成效並無顯著差異，代表無論先或後導入 AI，最終的知識習得成效相當。總結，研究結果指出 GAI 在微積分教學中的核心價值在於優化學習情緒與降低理解門檻，但教學者須審慎規劃引入與撤除時機，以平衡工具適應期的認知負擔與移除後的心理依賴問題。

4. 結論

本研究旨在解決大學微積分課程中，學生常因抽象概念與繁複運算而面臨的高認知負荷及學習挫折問題。為此，本研究採用交叉實驗設計，透過標準化的教學流程，比較傳統紙筆運算與生成式 AI（客製化 GPTs）引導式學習在不同操作順序下之效益。研究結果揭示導入 AI 工具的真实學習歷程，對於初次接觸者，工具的操作門檻會造成短暫外在負荷微幅上升；然而，移除 AI 輔助後則會產生的強烈挫折感與理解費力感，其強烈反證客製化 GPTs 在建立心理安全感與認知鷹架上的關鍵作用。總體而言，本研究證實 GPTs 引導式學習是一種優質且具支持性的學習體驗，其能在不影響最終成績的情況下，顯著降低學習者的情緒負荷，並減少理解過程的過度努力投入，這充分支持了 AI 作為虛擬助教的核心價值，即透過即時的引導與回饋，將原本艱澀痛苦的解題過程轉化為更輕鬆、舒適的體驗，有效緩解學生的無助與焦慮感並避免放棄學習的念頭，為微積分教學提供了一個具備情感韌性的創新解方。

參考文獻

- Baidoo-anu, D., & Owusu Ansah, L. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52-62. <https://doi.org/10.61969/jai.1337500>
- Huang, Q., & Willems, T. (2025). Empowering educators in the age of AI: An empirical study on creating custom GPTs in qualitative research method education. *arXiv preprint arXiv:2507.21074*.
- Hwang, G. J., & Chen, N. S. (2023). Editorial position paper: Exploring the potential of generative artificial intelligence in education: Applications, challenges, and future research directions. *Educational Technology & Society*, 26(2), i-xviii. [https://doi.org/10.30191/ETS.202304_26\(2\).0014](https://doi.org/10.30191/ETS.202304_26(2).0014)
- Kurudirek, A., Karim, B., Sarhang, D., & Machisi, E. (2025). Challenges faced by first-year university students in learning calculus. *Contemporary Mathematics and Science Education*, 6(2), Article ep25015. <https://doi.org/10.30935/conmaths/17298>
- Mehta, N., Nielsen, C., Zack, A., Christensen, T., & Isaacson, J. H. (2025). Creating custom GPTs for faculty development: An example using the Johari Window and Crucial Conversation

frameworks for providing feedback to struggling students. *Medical Teacher*, 47(8).

<https://doi.org/10.1080/0142159X.2024.2445043>

Xu, Z. (2024). AI in education: Enhancing learning experiences and student outcomes. *Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Machine Learning*, 104–111.

<https://doi.org/10.54254/2755-2721/51/20241187>